

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1953-1954 — N° 186

Balistocardiogramme des Sportifs Professionnels

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 10 Juillet 1954

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

BOUCHEAU Pierre

Elève de l'Ecole du Service de Santé Militaire

Né le 16 Décembre 1928

à Saintes (Charente-Maritime)



LYON

IMPRIMERIE NOIRCLERC & FÉNÉTRIER

3, rue Stella, 3

1954

Balistocardiogramme
des
Sportifs Professionnels



Digitized by the Internet Archive
in 2026

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1953-1954 — N° 186

Balistocardiogramme des Sportifs Professionnels

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 10 Juillet 1954

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

BOUCHEAU Pierre

Elève de l'Ecole du Service de Santé Militaire

Né le 16 Décembre 1928

à Saintes (Charente-Maritime)



LYON

IMPRIMERIE NOIRCLERC & FÉNÉTRIER

3, rue Stella, 3

1954

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire
Doyen
Assesseur

MM. J. LÉPINE.
H. HERMANN.
J. GATE.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. NICOLAS, COLLET, CLUZET, BÉRARD, GUIART, PIÉRY, CADE
PATEL, FAVRE, LÉPINE, SAVY, TRILLAT, LERICHE, MOURIQUAND.

PROFESSEURS

Clinique médicale A
Clinique médicale B
Clinique chirurgicale A
Clinique chirurgicale B
Clinique ophtalmologique
Clinique otho-rhino-laryngologique
Clinique urologique
Clinique et prophylaxie de la Tuberculose
Clinique dermatologique et syphiligraphie
Clinique neuro-psychiatrique et hygiène mentale
Clinique des maladies infectieuses et bactériologie
Clinique de chirurgie orthopédique et chirurgie infantile
Clinique gynécologique
Clinique obstétricale
Clinique stomatologique
Clinique médicale infantile et hygiène du 1^{er} âge
Pharmacie et Pharmacologie
Physiologie
Anatomie pathologique
Physique biologique radiologique et physiothérapie

Médecine du Travail
Parasitologie et pathologie exotique
Thérapeutique chirurgicale et chirurgie opératoire
Chimie organique et toxicologie
Pathologie générale et expérimentale
Hydrologie thérapeutique et climatologie
Anatomie
Pathologie interne
Chimie biologique et médicale
Pathologie chirurgicale
Histologie
Pharmacie galénique et matière médicale
Médecine légale et Déontologie
Thérapeutique
Hygiène
Biologie médicale et pharmacodynamie
Propédeutique chirurgicale
Botanique et cryptogamie
Chimie analytique pharmaceutique

MM FROMENT.
P. RAVAUULT.
SANTY.
WERTHEIMER.
BONNET.
X...
CIBERT.
DUFOURT.
GATE.
DECHAUME.
SEDALLIAN.
GUILLEMINET.
POLLOSSON.
PIGEAUD.
DUCLOS.
BERNHEIM.
LEULIER.
HERMANN.
MARTIN J.-F.
PONTIUS.
(détaché à Beyrouth)
MAZEL.
GARIN.
ROCHET.
CHAMBON.
JOSSERAND.
DELORE.
GABRIELLE.
CROIZAT.
ENSELME.
MALLET-GUY.
NOEL.
REVOL.
BOURRET.
LEVRAT.
SOHIER.
JOURDAN.
BERTRAND.
NETIEN.
BADINAND

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Obstétrique
Pharmacie et pharmacologie
Physique biologique

MM. BANSSILLON
DREYON.
BERGER

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

MM.
Parasitologie COUDERT.
Parasitologie ROMAN.
Histologie X...

Bactériologie
Physiologie
Physiologie
Biochimie médicale CREYSEL R.

AGREGÉS EN EXERCICE

MM.
Pathologie médicale BRUN.
Pathologie médicale GIRARD M.
Pathologie médicale GIRARD P.
Pathologie médicale JEUNE.
Pathologie médicale VACHON.
Pathologie médicale GALY.
Pathologie médicale GONIN.
Pathologie chirurgicale... BÉRARD.
Pathologie chirurgicale... DESJACQUES.
Pathologie chirurgicale... LABRY.
Pathologie chirurgicale... TRILLAT.
Pathologie chirurgicale... DARGENT.
Pathologie chirurgicale... MANSUY.
Pathologie chirurgicale... GUILLET.
Orthopédie MARION J.
Obstétrique BROCHIER.

MM.
Obstétrique MAGNIN.
Obstétrique MATHIEU J.
Anatomie pathologique... GUICHARD A.
Anatomie LATARJET M.
Urologie PERRIN.
Ophtalmologie PAUFIEUX.
Neuro-chirurgie LECUIRE.
Oto-rhino-laryngologie... MAYOUX.
Dermato-syphiligraphie... THIERS.
Médecine légale et médecine du travail..... ROCHE.

Chargé des fonctions de Maître de Conférences agrégé

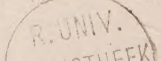
Hygiène BENAZET.

Examineurs de la Thèse

Président : Professeur R. FROMENT

Assesseurs : MM. A. GONIN; A. GUICHARD; L. ROCHE, professeurs agrégés

La Faculté de Médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.



A MES PARENTS

En témoignage de ma plus grande affection.

A MON FRERE PAUL ET A SA FIANCEE

A TOUS LES MIENS

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR R. FROMENT

Professeur de Clinique médicale

Il nous a fait le grand honneur d'accepter
la présidence de cette thèse.

A NOS JUGES

MONSIEUR LE DOCTEUR A. GONIN

Agrégé de médecine

MONSIEUR LE DOCTEUR A. GUICHARD

Agrégé d'anatomie pathologique

MONSIEUR LE DOCTEUR R. ROCHE

Agrégé de médecine légale et de médecine du Travail

Hommages respectueux.

AU MEDECIN-COMMANDANT CHEVAT

*Médecin-chef du Service de médecine
de l'Hôpital militaire Scrive de Lille*

Il a bien voulu nous confier ce travail, et n'a pas cessé, durant sa réalisation, de nous prodiguer ses encouragements et ses conseils avisés. Nous lui sommes reconnaissant de l'enseignement qu'il nous a donné lors de notre dernière année d'études.

AU DOCTEUR J.-F. MERLEN

Médecin-Cardiologue, conventionné par les Hôpitaux militaires

Son enthousiasme, son amour pour la recherche scientifique, son esprit critique, mais aussi ses dons d'intuition nous ont vivement impressionné. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre admiration.

AU MEDECIN-GENERAL CHAVIALLE

Directeur de l'Ecole du Service de Santé militaire

AU MEDECIN-COLONEL RETAT

Médecin-chef de l'Hôpital militaire d'Instruction Des Genettes

Sous-directeur de l'Ecole du Service de Santé militaire

A NOS MAITRES DES HOPITAUX CIVILS

ET MILITAIRES

AU GENERAL MALAGUTTI

Commandant la II^e Région militaire

Il a considéré nos travaux avec sympathie et bienveillance et en a permis l'achèvement.

Hommages respectueux.

AU COLONEL ARNOULT

Il a mis à notre disposition les moyens matériels nécessaires à nos investigations. Qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance.

A MES AMIS

A MES CAMARADES DE PROMOTION

Balistocardiogramme des Sportifs Professionnels

INTRODUCTION

En stage à l'Hôpital Militaire Scrive de Lille, le plus ancien Hôpital Militaire de France, nous avons suivi avec le plus grand intérêt la consultation de cardiologie et assisté aux recherches critiques entreprises par le Docteur J.-F. Merlen, sur la balistocardiographie.

Cette nouvelle technique a pour objet l'enregistrement des mouvements globaux du corps en rapport avec l'activité mécanique du cœur et des gros vaisseaux. Elle peut renseigner sur la capacité fonctionnelle du myocarde, à un point tel que la constatation d'un tracé normal permettrait d'éliminer une anomalie de la contraction mécanique du cœur et de reconnaître l'aptitude du sujet examiné à la pratique des sports en général et au service militaire en particulier : personnel des unités de choc, Commandos, pilotes d'avions à réaction. Les auteurs nord-américains utilisent depuis 1939 la balistocardiographie comme moyen de dépistage systématique.

Quantité de tests ont été proposés pour explorer l'état d'activité et le potentiel de l'appareil circulatoire ; leur nombre va croissant, leur interprétation reste toujours litigieuse : tests trop standardisés ou d'intérêt trop limité.

Mais c'est à la clinique qu'il faut revenir en dernier ressort. Elle conserve, même aujourd'hui, une place de choix dans tout examen du cœur. P.-D. White donne à l'interrogatoire une valeur indicative de 50 %, réservant 30 % à l'auscultation et n'accordant

que 10 % à la radioscopie et 5 % à l'électrocardiographie. C'est dire l'importance d'un interrogatoire minutieux et d'une auscultation fine.

Cependant il est souvent nécessaire de disposer d'une technique de classement rapide des sujets suivant leurs possibilités, et d'un instrument qui puisse apporter des renseignements sur la puissance cardiaque. A l'heure actuelle, il semble que la balistocardiographie puisse répondre à ces divers desiderata.

Depuis trois ans, Monsieur le Docteur Merlen et ses collaborateurs contribuent à l'introduction de la méthode en France et la font passer du domaine du laboratoire à celui de la médecine pratique.

A la suite d'une étude critique récente sur la morphologie des tracés dans les cardiopathies, ces auteurs ont conclu à l'intérêt de la méthode passée au crible de la clinique, et à la nécessité de poursuivre les recherches dans ce sens.

Monsieur le Docteur Merlen a bien voulu nous confier l'examen des sportifs professionnels. Nous espérons ainsi contribuer à l'étude de la signification des tracés balistocardiographiques, à l'étude du « cœur de sportif » et à la mise au point d'un nouveau test de contrôle facilement réalisable et applicable aussi bien à l'hôpital que sur le terrain, dans l'armée et les milieux sportifs.

Nos travaux ont été guidés également par Monsieur le Médecin Commandant Chevat, Chef du Service de Médecine de l'Hôpital Militaire de Lille, qui a bien voulu nous permettre l'utilisation de son électrocardiographe, même à l'occasion de nos déplacements.

J.-P. Cachera, assistant de Monsieur le Docteur Merlen, nous a initié au maniement des appareils et nous a aidé pour la prise des enregistrements.

Nous devons, enfin, adresser nos remerciements au Médecin Colonel Dupeyron, Chef du Service de radiologie de l'Hôpital Militaire Scrive, qui a mis son laboratoire à notre disposition pour le développement de nombreux films.

Notre gratitude s'adresse également à Monsieur le Médecin Colonel Bousquet, Médecin Chef de l'Hôpital, qui a bien voulu nous encourager et faciliter nos déplacements.

Je remercie mes camarades internes qui se sont tous intéressés à mon travail.

*
* *

Méthodes utilisées et conditions d'examen

Nous avons donc disposé d'un moyen d'étude très spécial et nouveau, semblant venir à son heure, après les récentes mises au point cliniques, radiologiques et électrocardiographiques ayant trait au cœur du sportif. Nous avons pratiqué nos investigations dans des conditions très particulières et originales : examen de sujets jeunes, bien portants, sportifs professionnels en cours d'entraînement et sélectionnés pour les compétitions. Nous avons prospecté différentes catégories de sports, dont le cross, la natation, l'aviron, le football, l'athlétisme, pour finalement clore notre enquête par l'examen de pilotes d'avions à réaction, avec le très précieux concours de Monsieur le Médecin Commandant Casté, Médecin-Chef de la Base aérienne de Cambrai.

Il n'a pas été dans notre intention de faire une statistique que nous n'aurions pu d'ailleurs réaliser. Nous avons retenu et apportons cent enregistrements au repos et le même nombre après effort. Nous avons conçu cette épreuve d'effort d'une façon nouvelle ; nous ne nous sommes pas contenté des classiques flexions, répétées un certain nombre de fois, auxquelles le sujet, même sportif, n'est pas habitué. Pour cette raison, cette épreuve en chambre et de courte durée, qui est largement utilisée depuis les travaux de Gallavardin et Tourniaire et de Lian, sans avoir perdu de son intérêt, peut être jugée insuffisante. Nous avons quitté délibérément le cabinet, la salle d'examen, pour nous transporter sur le stade, où nous examinions les sujets au vestiaire, sur le terrain, à la mi-temps du jeu, ou en fin de match.

Nous devons à la bienveillance du Général Malagutti et du Colonel Arnoult les facilités qui nous ont été accordées (convocation des sujets, organisation des matches, délégation d'officiers des Sports, prêt d'une ambulance).

Nous avons pu suivre ainsi les équipes de football du 13^e Régiment d'Infanterie et de la 2^e Compagnie régimentaire du Train dans leurs compétitions. Nous avons donc pu revoir plusieurs fois les mêmes joueurs pendant toute la saison sportive, afin de nous

assurer de la constance de nos résultats, leur donnant ainsi les meilleures garanties scientifiques. Nous avons fait de même pour les pilotes d'avions à réaction. Ces hommes d'élite se sont, à notre demande, prêtés à des missions d'assaut les exposant à des accélérations et décélérations brutales de l'ordre de 3 à 6 g.

Dans les milieux sportifs civils, nous avons d'ailleurs rencontré la même compréhension et nous devons remercier les dirigeants et médecins de clubs qui nous ont communiqué avec empressement les résultats des examens cliniques de leurs sportifs.

Le caractère fatalement fastidieux de nos démarches a été atténué par la joie que nous a procurée la découverte des milieux sportifs nordiques et par la gentillesse de l'accueil qui nous a été réservé. En effet, dans ce pays minier où les cimetières militaires nous rappellent, au long des chemins et des champs, les sacrifices consentis, les « Gueules Noires » chères à Jonas et Van Gogh ont peu de goût pour ce qu'on appelle, ailleurs, le « repos dominical ». Les durs jeux du sport les fascinent, et chacun pratique, soit le football, la boxe, le cyclisme, la marche ou la course au javelot. Au minimum, on est supporter, là-bas, d'un club amateur.

Nous ne pouvions trouver de conditions plus favorables à nos investigations.

CHAPITRE I

RAPPEL HISTORIQUE ET PRINCIPES DE LA METHODE BALISTOCARDIOGRAPHIQUE

Lorsqu'on veut établir la paternité des inventions et des découvertes, on se trouve amené à édifier un arbre généalogique, parfois très touffu, car dans l'évolution des connaissances et de leurs applications, tout s'enchaîne, un progrès en suppose d'autres qui l'ont annoncé et préparé.

Pour reprendre une image de Monsieur Georges Hardy, ancien Recteur de l'Université de Lille, imaginons de pratiquer, à la manière des géologues, une coupe dans les sciences médicales. Nous mettons à jour des sédiments traversés par des formations éruptives : des sédiments, constitués d'erreurs et de préjugés, de connaissances empiriques, mais aussi d'acquisitions sérieuses dont, parfois, les savants et les chercheurs font leur lit durant des siècles ; des formations éruptives, telle la découverte par Harvey, en 1628, de la circulation du sang et du rôle qu'y joue le coup de pompe cardiaque : « De Motu Cordis », titre de son ouvrage capital.

Le fait, pourtant simple à concevoir, de l'existence de mouvements du corps humain déterminés par l'activité mécanique cardiaque n'a été suspecté qu'en 1877 par l'Ecossois Gordon. Souffrant d'insomnie, ce précurseur incriminait les grincements périodiques de son lit et ne fut pas peu surpris de noter leur coïncidence avec le pouls radial. Le lendemain, plaçant un sujet sur une bascule, il enregistra les oscillations rythmées de l'index.

Ce « Motus Corporis », conséquence du « Motus Cordi » de Harvey, est d'ailleurs connu de tous : une jambe croisée en équilibre sur l'autre est animée de mouvements synchrones du pouls.

Nous pouvons citer ensuite les noms de Henderson, qui émit le premier l'hypothèse, en 1905, d'un parallélisme entre le débit systolique et l'amplitude du tracé recueilli, et en fit l'expérience lors de l'expédition anglo-américaine du Pike Peak (1911). Heald et Tucker signalèrent les variations respiratoires des courbes balistiques. Abramson s'attaqua, en 1933, aux bases physiques de la méthode, puis dut l'abandonner.

C'est surtout à Starr, Professeur de Physiologie, et son Ecole (1937), et à W. Dock et Taubmann (1941), que l'on doit l'étude théorique approfondie de la question, ainsi que la mise au point d'un procédé pratique. Les mouvements du corps humain sont, en effet, peu perceptibles à l'œil ; pour les mettre en évidence et les enregistrer, il faut d'abord placer le sujet dans les meilleures conditions de décontraction, de « relaxation ». Il est certain que l'on peut enregistrer les déplacements du corps, soit selon les trois axes de translation, soit selon les trois axes de rotation. En fait, ils sont surtout importants selon l'axe longitudinal dans le sens tête-pieds. Le sujet est couché, suivant le procédé de Starr, sur une table mobile suspendue au plafond par quatre ressorts d'acier ; les mouvements de latéralité sont éliminés dans ce cas par un système d'amarrage.

W. Dock et Taubmann ont eu le mérite de simplifier l'appareillage et de le rendre pratique. Ici, la table est supprimée, le sujet est étendu sur un plan solide, de préférence élastique (Walker et Smith), sur lequel il oscille grâce à son élasticité tissulaire propre. Les mouvements du corps sont transmis à un appareil de détection, ou lecteur, au moyen d'une simple barre posée transversalement sur les tibias. C'est la solution adoptée par Monsieur le Docteur J.-F. Merlen et que nous avons utilisée pour notre expérimentation.

Les mouvements peuvent alors être captés de plusieurs façons :

1 Au moyen d'un système **photo-électrique** : la barre vient, par un de ses bords, couper un faisceau de lumière qui éclaire une

cellule photo-électrique, et fait varier le potentiel émis en fonction de l'amplitude des mouvements ;

2° Au moyen d'un système **piezo-électrique** : la barre vient comprimer plus ou moins le cristal, ce qui module un courant.

Ces deux modes nous donnent des tracés de déplacement.

3° Au moyen d'un système **électro-magnétique** qui capte les déplacements sous forme de tracés dits de vitesse. Ce système électro-magnétique est le plus facile à réaliser. Son maniement est plus commode. C'est le procédé choisi par Monsieur le Docteur J.-F. Merlen et que nous avons utilisé dans nos investigations. Nickerson et Matters, de New-York, dans une revue critique, ont insisté sur la valeur théorique de ce procédé, qui est un des meilleurs, avec la table oscillante amortie au point critique.

CHAPITRE II

APPAREILLAGE (fig. 1)

Nous avons été amené à construire deux appareils du type électro-magnétique selon les schémas donnés par le Docteur J.-F. Merlen.

Pour le premier appareil, nous avons utilisé deux bobines placées en série, mais en regard l'une de l'autre, suivant le même axe, dans l'intervalle desquelles est disposé un aimant. Ces bobines faisaient corps avec la barre, doublée de caoutchouc-mousse, reposant transversalement sur les tibias du sujet. La barre de bois se trouve amarrée aux jambes par des bandes élastiques en caoutchouc. Cet élément, qui fait intimement corps avec le sujet, se déplace avec lui et vient jouer devant un aimant droit, fixe, indépendant du sujet et de la table, soutenu par un socle lourd et rigide : l'aimant crée ainsi un champ magnétique constant dans l'intervalle des deux bobines. Tout déplacement du sujet, donc des bobines, provoque un courant induit variable en fonction de la vitesse des déplacements du corps. Les variations de potentiel aux bornes des deux bobines placées en série sont transmises à un enregistreur, l'électro-cardiographe.

Pour le deuxième appareil, de maniement plus délicat, mais que nous avons finalement adopté pour sa plus grande sensibilité, nous avons transformé un écouteur de téléphone ; cet écouteur, d'une résistance ohmique de 2.000 Ohms, est composé d'une membrane qui vibre dans un champ magnétique puissant. Nous avons soudé avec délicatesse une tigelle métallique rigide, sur la face

externe de la membrane, et perpendiculairement à son plan. Tout déplacement de la membrane produit des variations de potentiel aboutissant à la production de tracés dits de vitesse. L'écouteur est fixé au socle, donc immobile, et la membrane est solidarisée avec la barre par l'intermédiaire de la tige métallique, et à l'aide d'un système de vissage réglable. L'ensemble, sensible au maximum, nous a donné des courbes plus nettes qu'avec le précédent appareil, et surtout moins perturbées.

Le courant, au sortir de notre montage, peut être dérivé ou intégré électriquement au moyen d'un filtre dont Monsieur le Docteur Merlen nous a également donné le schéma. Suivant le cas, il est possible de passer des enregistrements de vitesse à ceux de déplacement ou d'accélération. Nous avons surtout utilisé le déplacement.

A l'autre borne du filtre se trouvent les fiches de dérivation D1 de l'appareil enregistreur, qui est un électrocardiographe à lampes, du type Baudouin.

Cet électrocardiographe est conçu de telle sorte qu'on puisse lire les courbes sur un oscillographe cathodique et apprécier la qualité du tracé à enregistrer éventuellement. On pouvait à volonté injecter dans les courbes le repère chronologique, l'onde R de l'électrocardiogramme. Mais, si ce dispositif est indispensable chez les sujets pathologiques, il l'est beaucoup moins chez le sujet normal, notamment chez le sportif entraîné, qui est un vagotonique, donc à cœur lent.

Un inconvénient aurait pu nous arrêter dans l'utilisation de cet appareillage, car le système adopté de l'écouteur de téléphone ne fournit pas de tracés comparables en amplitude d'un enregistrement à l'autre. C'est que la position de repos de notre membrane ne pouvait jamais être la même. Son état de tension variait avec chaque manipulation, ce qui influait directement sur l'amplitude de ses déplacements et, par conséquent, sur l'amplitude du tracé. Constamment, après les épreuves d'effort, nous avons dû réduire de deux fois environ nos amplitudes en tendant la membrane, pour éviter de voir les oscillations du spot déborder les limites de notre écran fluorescent. D'ailleurs nous aurions été fort surpris de trouver chez ces sportifs normaux, jeunes et sains, des courbes écrasées comme elles peuvent l'être dans certaines cardiopathies.

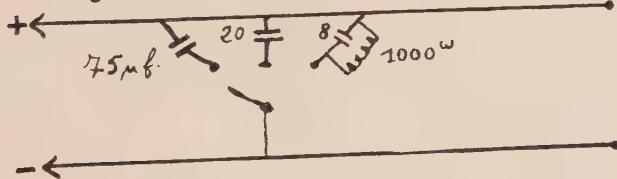
Evidemment, la morphologie des courbes est respectée, ce qui reste l'élément fondamental de notre étude. Nous verrons, par la suite, que les études quantitatives sur la balistocardiographie restent encore toutes relatives. Il n'est pas possible, pour l'instant, de faire de mesures quantitatives, faute d'un dispositif d'étalonnage. Smith et Bryan ont proposé une méthode qui est encore du domaine de l'aventure.

Bobines.

Aimant droit
fixé au socle rigide

Schéma du
filtre:

Electro-
cardio-
graphe



- 75 μ f: courbe balistographique de vitesse intégrée ou courbe de déplacement.
- 20 μ f: vitesse et accélération
- 8 μ f: vitesse pure.

Ecouleur de
téléphone.

CHAPITRE III

MORPHOLOGIE DES TRACÉS

Habituellement, le tracé est relevé dans le sens longitudinal tête-pieds. Dans ce cas, il comprend différents accidents assez caractéristiques pour être décrits et repérés par rapport aux diverses phases du cycle cardiaque. Par convention, les déplacements longitudinaux vers la tête s'inscrivent au-dessus de la ligne de base, les déplacements vers les pieds en dessous. Le balistocardiogramme est constitué de deux trains d'ondes : un systolique HIJK, un diastolique LMNO ; la signification des ondes HIJK commence à être connue (fig. II).

L'onde H est une onde positive, d'amplitude réduite, variable d'un sujet à l'autre et suivant les mouvements respiratoires. Elle est synchrone du premier bruit et correspond pour Nikerson à la fin de la contraction auriculaire, pour Hamilton, à la composante verticale du choc de la pointe et, pour De Lalla, aux deux à la fois (fig. III A).

L'onde I (fig. III B) qui lui fait suite, est une onde négative qui accompagne, pour la plupart des auteurs, l'arrivée du sang dans l'aorte ascendante et dans la pulmonaire. Il peut sembler paradoxal qu'un déplacement de la masse sanguine vers la tête puisse donner un mouvement du sujet vers les pieds. Il est un principe physique qui veut que toute accélération du sang dans un tronc artériel principal soit accompagné d'un mouvement du corps en sens opposé (passagers d'une voiture rejetés en arrière lors d'une brusque accélération) et que toute décélération, c'est-à-dire

toute perte de vitesse produise un mouvement du corps dans le même sens que le déplacement (passagers d'une voiture projetés en avant lors d'un brusque freinage) (1). Ceci peut expliquer :

que l'onde J soit une onde positive correspondant à l'accélération du sang dans l'aorte descendante et à la décélération dans l'aorte ascendante (fig. III C) ;

que l'onde K corresponde à la décélération du sang dans l'aorte descendante ou au choc de l'ondée sanguine contre les résistances périphériques (fig. III D). L'onde K est synchrone du second bruit donc de la fin de l'onde T de l'électrocardiogramme.

Chez les sujets normaux, l'amplitude de la déflexion HI est égale au quart ou à la moitié de celle de IJ, et déflexion JK égale sensiblement IJ.

Les ondes diastoliques LMNO sont considérées par de nombreux auteurs comme des artefacts. Ceci est vraisemblablement inexact. Ces ondes ne diminuent pas graduellement d'amplitude, l'onde N est souvent plus importante que l'onde L. Il est donc difficile d'admettre qu'il s'agisse de simples vibrations harmoniques dues à un effet interférentiel. Ces ondes doivent être d'ordre hémodynamique, en rapport avec le remplissage rapide du ventricule et le jeu de la circulation de retour, comme tendent à le montrer les expériences récentes de Starr et ses collaborateurs (1953) sur le cadavre frais. Elle est synchrone de la fermeture des valves aortiques (Gugner) et de l'incisure du sphymogramme carotidien (Hamilton-Tannebaum). N est synchrone de l'onde V du phlébogramme.

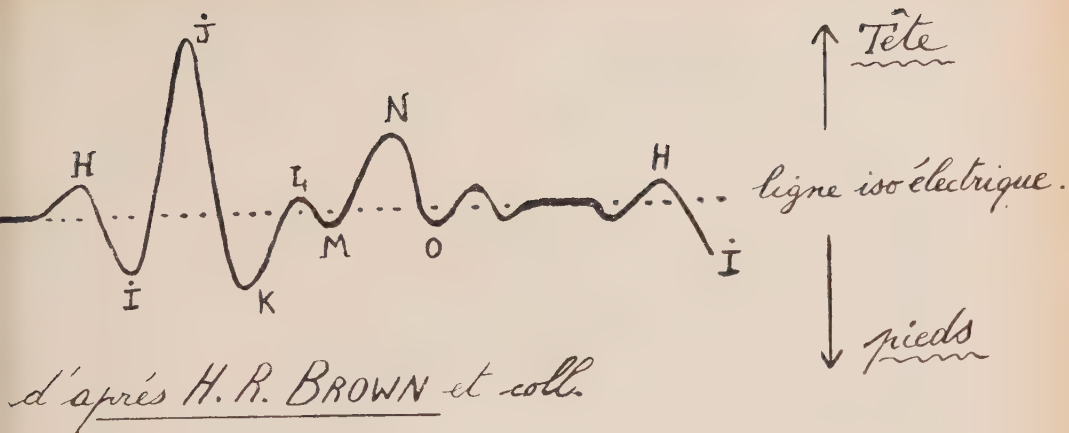
Le balistocardiogramme subit de légères variations pendant la respiration ; les complexes diminuent en général au début de l'expiration et l'onde K s'approfondit légèrement. Les variations respiratoires sont l'expression des variations de pression intrathoracique. En phase inspiratoire, le remplissage du ventricule droit est facilité et le sang tend à descendre avec le diaphragme pour atteindre l'abdomen. En phase expiratoire, le ventricule gauche intervient presque électivement, ce qui explique les anomalies de la courbe dans le cas d'insuffisance de cette cavité.

(1) C'est en somme l'application de la troisième loi de Newton : « A toute action s'oppose une réaction égale et de sens contraire ».

Tel est, très schématisé, le mécanisme de production des différentes ondes du balistocardiogramme. Le phénomène est en réalité **d'une extrême complexité**, il faut se garder d'être trop absolu, les courbes obtenues ne reflètent qu'indirectement l'activité mécanique cardiaque et peuvent être déformées par les méthodes d'enregistrement et de nombreux facteurs sur lesquels nous reviendrons. La lecture du tracé est parfois difficile, surtout dans les cas pathologiques en l'absence de repères chronologiques. C'est pourquoi, comme il a été dit plus haut dans le chapitre de l'appareillage, il faut enregistrer simultanément avec le balisto-cardiogramme l'un des phénomènes suivants : électrocardiogramme, phonocardiogramme, piezogramme (fig. II). On peut d'ailleurs, lorsqu'on ne possède qu'un appareil à une seule dérivation, enregistrer, ou plus exactement superposer sur le même tracé, l'électrocardiogramme et le balistocardiogramme, suivant la méthode décrite par Gubner (1951) et Blackman (1952).

Lors de la lecture des courbes, il faut tenir compte de la régularité des accidents, de leur netteté, de leur amplitude et de leur morphologie. Il peut sembler osé de parler de régularité et de netteté des courbes en balistographie à ceux qui manient l'électrocardiographie, mais le balistocardiogramme n'est pas à comparer avec l'électrocardiogramme. Le balistocardiogramme donne des renseignements d'ordre totalement différent, puisqu'il a trait à l'action mécanique du cœur et à la circulation du sang dans les vaisseaux. Certains balistocardiogrammes pathologiques se reconnaissent d'emblée à l'absence de régularité et de netteté, au point que Brown, Hoffman et De Lalla ont proposé une classification en cinq degrés : le degré zéro correspond à un balistocardiogramme normal et le dernier degré, degré 4, à un aspect anarchique du tracé de basse amplitude.

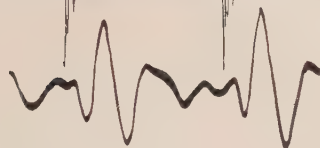
Seuls ont été retenus pour l'analyse les tracés sur lesquels les profils sont demeurés constamment comparables entre eux. Les artefacts, qui sont fréquents en balistographie, ne donnent lieu, en effet, qu'à des atypies occasionnelles. Autant nous avons été sévère dans la sélection clinique de nos sujets, autant nous avons été large dans l'interprétation morphologique des tracés.



Superposition d'un phono, d'un balisto, et
d'un électrocardiogramme.



Phono

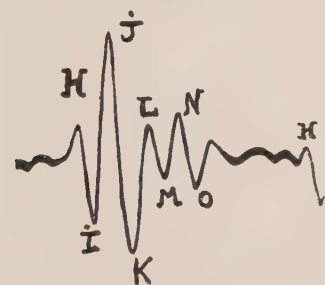


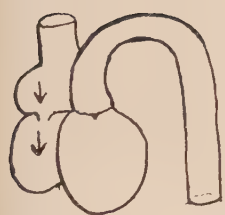
Balisto



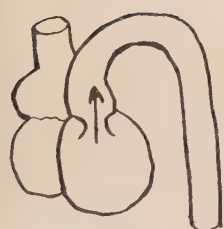
Electro

Balisto cardiogramme normal.

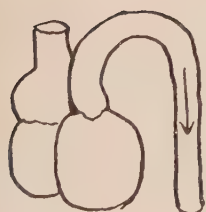




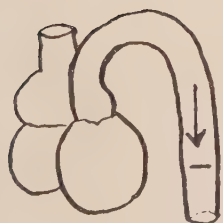
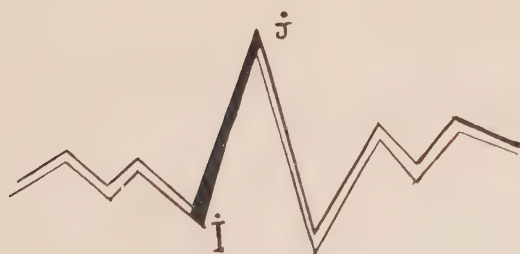
A



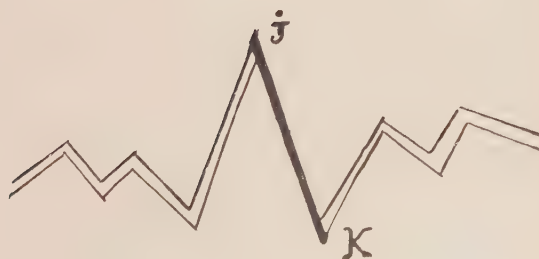
B



C



D



CHAPITRE IV

SIGNIFICATION DU BALISTOCARDIOGRAMME

Quelle valeur faut-il accorder à cette méthode ?

Monsieur le Docteur J.-F. Merlen en a discuté et considère, en effet, que du point de vue instrumental deux problèmes sont à résoudre :

- 1° La façon de supporter le patient dans l'espace ;
- 2° Le procédé d'enregistrement.

Si le patient pouvait flotter librement dans l'espace, le problème du support serait simple. En fait, on se trouve dans l'obligation de placer le sujet sur une table mobile, suspendue par des câbles ou supportée par des ressorts, ou sur une table fixe. Chacun des éléments de la série « cœur-gros vaisseaux, squelette-tissus-table-lecteur et appareil enregistreur » constitue un oscillateur pendulaire ayant une fréquence naturelle propre. Si ces différents éléments subissent une impulsion unique, ils continueront à osciller à leur fréquence propre pendant un certain temps et d'autant moins que le degré d'amortissement sera plus important. Si l'impulsion unique est remplacée par une série d'impulsions, il y aura selon les lois physiques des mouvements périodiques, des phénomènes de résonance, d'extinction mutuelle ou de battements qui constituent autant d'artefacts importants. Starr avait d'ailleurs reconnu en 1938 que si l'onde I est probablement exacte, l'onde J est exagérée d'environ 40 % ; à partir de là, l'erreur devient impossible à estimer. L'idéal serait d'amortir au point critique pour

obtenir des courbes apériodiques. Tous les auteurs s'y ingénient, Burger y est parvenu mieux que Nickerson. Le tracé ressemble alors d'une façon étrange à un pléthysmogramme, raison pour laquelle Ten, Holt et Noorden-Graff ont assimilé la balistographie à une pléthysmographie. Si le balistogramme est en rapport avec les conséquences rythmiques de l'énergie cardiaque et de la vitesse d'éjection ventriculaire sur l'élasticité du cœur et des vaisseaux, il existe bien entendu des facteurs extra-cardiaques qui viennent modifier la courbe. Ce sont la circulation pulmonaire, le jeu des réservoirs sanguins, et la viscosité des tissus... Les réserves étant faites sur la valeur théorique de cette méthode, l'accent étant mis sur la complexité d'interprétation des courbes obtenues, on ne peut s'empêcher de considérer que le balistogramme soit un tracé dynamique de systèmes élastiques sollicités rythmiquement par l'éjection ventriculaire. Le balistogramme serait, s'il était pur, la courbe de déplacement du canon lui-même, et non du boulet qu'il lance, étant entendu que ce canon tire sur lui-même.

Qu'apporte au clinicien le balistogramme ?

Tout d'abord un tracé normal implique un fonctionnement satisfaisant de la pompe cardiaque et exclut « à priori » les insuffisances cardiaques ou coronariennes, les anomalies de la contraction cardiaque ou de la circulation du sang dans les gros troncs artériels. L'amplitude basse des tracés va de pair avec un débit cardiaque bas ; des anomalies, des irrégularités au cours de la respiration s'observent au cours des syndromes coronariens. Monsieur le Docteur J.-F. Merlen a discuté, en mars 1953, la valeur clinique des anomalies morphologiques.

Evaluation du débit cardiaque par le balistocardiogramme

On a voulu évaluer par cette méthode le débit cardiaque. Henderson émit le premier l'hypothèse, en 1905, qu'il devait exister un parallélisme entre le débit systolique et l'amplitude des différents éléments du tracé recueilli. Starr et Coll ont essayé, de 1937 à 1939, de mettre en évidence une relation numérique entre le balistogramme et le débit systolique et ont établi une formule empiriquement. Il existerait pour ces auteurs une relation mathé-

matique entre la courbe d'éjection ventriculaire et celle du balistogramme, le balistogramme pouvant être considéré comme la troisième dérivée de la courbe d'éjection ventriculaire. Une triple intégration du tracé donnerait la courbe d'éjection cardiaque en passant par les courbes d'accélération (première dérivée) et de vitesse (deuxième dérivée). Il faut souligner toutefois que les erreurs dues à ces intégrations successives ne permettent « qu'une estimation quantitative approchée du débit cardiaque » comme l'ont souligné Starr sur le plan expérimental et Cournand sur le plan physiologique, en comparant les résultats obtenus par les méthodes gazométriques et par cette méthode. Pratiquement, dans l'état actuel de la question, cette technique ne semble pas devoir être utilisable pour le calcul du débit cardiaque.

Monsieur le Docteur J.-F. Merlen pense avoir démontré par le calcul que les ondes du balistocardiogramme correspondent à une fondamentale unique qui serait en rapport direct avec la force de contraction cardiaque. C'est confirmer l'intérêt de la méthode malgré les écueils dont la voie est parsemée.

CHAPITRE V

LE MATERIEL D'ETUDE

Nous avons retenu, parmi notre collection, cent tracés, recueillis avant et après effort :

- Cross : 10 sujets professionnels
- Natation : 10 sujets professionnels
- Aviron : 5 sujets professionnels
- Pentathlètes : 20 sujets professionnels
- Football : 40 sujets professionnels
- Vétérans
du football : 4 sujets professionnels
- Pilotes d'avions à réaction : 11 sujets

Les épreuves sportives.

La réadaptation de nos sujets étant très rapide, nous n'avons pu prélever que peu d'enregistrements à la fois. En moyenne, le premier sujet examiné l'était une minute après la fin de l'épreuve ; néanmoins, nous poursuivions les enregistrements jusqu'à quatre, six minutes après, bien que le temps de récupération, fixé en général à trois minutes, fût déjà dépassé.

Le football.

Nous avons suivi les championnats de la saison 1953-54 remportés par l'équipe de la 2^e C. R. T. ; quelques futures vedettes du football de demain s'y illustraient, dont quelques-unes étaient déjà

confirmées. Des combats épiques menés lors des éliminatoires entre le 43^e R. I. et la 2^e C. R. T. nous donnèrent l'occasion de contrôler des joueurs ayant fourni le maximum de leurs efforts sans pour cela avoir dépassé les limites de leurs possibilités physiques normales.

La durée d'une mi-temps est de 45 minutes ; un match au total dure 90 minutes : c'est alors que nous prenions nos tracés.

Le cross.

Départ de quart d'heure en quart d'heure, examen au bout d'une demi-heure de course.

Natation.

(Equipes de water-polo de Tourcoing).

Examen après « mise en train » et exécution d'un 400 mètres crawlé.

Aviron.

Les épreuves se déroulaient sur la rivière Deûle. Examen après trois quarts d'heure de rames.

Pentathlètes.

Sujets pratiquant tous l'athlétisme régulièrement, plus un sport d'équipe ou deux, à titre de dérivatif.

Examen après une séance de culture physique de 20 minutes suivie d'un cross-country.

Pilotes d'avions à réaction.

Nos examens n'ont été pratiqués que 5 minutes après la fin de l'atterrissage, par suite des manœuvres de l'avion, du déshabillage du pilote et des mesures de sécurité nécessaires et réglementaires.

Les pilotes, sur leurs « Ouragans » ont exécuté des exercices d'assaut les soumettant à des accélérations et décélérations brutales qui peuvent atteindre plusieurs fois la valeur de la force gravitationnelle.

CHAPITRE VI

RESULTATS

Avant d'apporter nos résultats et d'en tirer des conclusions, rappelons la signification des différentes ondes du balistogramme.

Avec des divers auteurs, on peut attribuer aux diverses ondes la signification hémodynamique suivante :

H : Systole auriculaire et éventuellement choc apexien. Phase isométrique ou de mise en tension du ventricule.

I : Expulsion ventriculaire, phase initiale d'éjection.

J : Choc dynamique de l'onde de pression sur la crosse de l'aorte et de la pulmonaire.

K : Résistance périphérique à partir des branches de division de l'aorte abdominale.

L : Phase isométrique de relâchement diastolique.

M : Remplissage diastolique rapide.

N : Fin du remplissage diastolique, fermeture des valves auriculo-ventriculaires.

Ces ondes diastoliques sont dues aux conditions de remplissage des ventricules quand la pression intra-ventriculaire s'abaisse. Il est certain que le jeu mécanique de la contraction auriculaire intervient sur celui de la contraction ventriculaire, avec un décalage dans le temps de 0 seconde 14 à 0 seconde 15. La systole auriculaire détermine, comme on a pu s'en rendre compte au cours des rythmes de dissociation auriculo-ventriculaire, un com-

plexe balistique ijk voisin du complexe balistique IJK. Sa mise en évidence est nette dans les enregistrements transversaux, elle est moins facile et moins nette dans les enregistrements habituels dits « dans le sens tête-pieds ». Ceci a son importance si l'on veut donner une signification correcte aux divers accidents du balistogramme ; il est certain, en effet, que le complexe auriculaire « mord » sur le complexe ventriculaire.

Enfin, si l'aspect du balistogramme demeure semblable, sinon identique à lui-même, sur les tracés prélevés au moyen des tables de Starr, des divers procédés de Dock et des tables amorties de Nickerson, il faut toujours préciser la façon dont a été prélevé le tracé électromagnétique. Celui-ci correspond à un tracé de vitesse, il peut, par intégration électronique, donner un tracé de déplacement (par introduction d'une capacité de 75 à 100 microfarads), il peut aussi donner un tracé mixte de vitesse et de déplacement par l'emploi d'une capacité supérieure à 30 microfarads. Le procédé électromagnétique exagère l'amplitude des ondes K et L chez le sujet normal, par rapport au procédé photoélectrique. Mais nous savons que ce dernier procédé est physiquement critiquable.

Variations respiratoires.

Si en expiration l'influence du ventricule gauche est prédominante, en inspiration, c'est celle du ventricule droit, et la contribution du ventricule droit aux forces balistiques est probablement plus de deux fois aussi grande que celle du ventricule gauche. (Travaux de Starr. 1946). D'où l'explication des variations respiratoires habituelles des ondes I et J : l'amplitude de I et J augmente à l'inspiration et diminue à l'expiration.

Les calculs du débit cardiaque.

Du fait de l'absence actuelle d'une méthode correcte d'étalement, il n'a jamais été dans notre intention de chiffrer le balistogramme, ni d'évaluer la force systolique et le débit cardiaque. Plus intéressante, car plus clinique, nous paraît cependant la méthode des auteurs italiens Masini et Rossi. Ceux-ci ont préconisé,

en 1953, l'étude quantitative du balistogramme sous forme de la vitesse du corps et du Moment M du corps. Ils évaluent ainsi la **vitesse du corps** :

$$\text{Vitesse du corps} = \frac{\text{Distance du pic de I au pic de J en mètres}}{\text{Le temps en secondes}}$$

Cette valeur est trop importante ; il est préférable d'évaluer I J en millimètre/seconde, d'où une vitesse en millimètres/seconde. Le moment du corps correspond à l'équation :

$$M = \text{Vitesse du corps} \times \text{Masse du corps en kilos}$$

(Résultat chiffré en kilogrammes-millimètres/seconde)

D'après Masini et Rossi, les chiffres normaux de vitesse seraient en moyenne, pour l'homme, de 76 mm/sec., et, pour la femme, de 59 mm/sec., avec des limites normales de 115 mm/sec. à 30 mm/sec.

Insistons sur la nécessité d'étalonner convenablement l'intervalle des ondes I et J. A l'aide de notre premier appareil, constitué de bobines venant jouer devant un aimant droit fixe, nous avons pu prendre 40 enregistrements au repos, notre aimant étant toujours placé au même endroit repéré par rapport au plan des bobines.

Voici quels sont nos résultats, 1 mm. représentant sur la ligne iso-électrique 0 sec. 04 :

Minimum trouvé : 60 millimètres/sec.

Maximum trouvé : 240-millimètres/sec.

La plus grande fréquence se situe entre 120 et 150 millimètres/sec.

Il nous semble donc que, chez nos sportifs au repos, la vitesse du corps soit plus grande que chez les sujets normaux ; nous en avons l'impression sur l'oscillographe cathodique. Nous pensons en trouver l'explication dans une augmentation de l'énergie potentielle et de la force cinétique cardiaque.

Résultats proprement dits

Analyse des tracés

A) Au repos :

1° Par catégorie de sports.

Nageurs :

Nous avons constaté la plus grande fréquence du rapport des amplitudes :

$$K \geq J > I$$

Présence d'une onde diastolique L en clocher.

Netteté de l'onde 0.

Durée de I J : 0 sec. 12.

Durée de J K : 0 sec. 22 à 0,24.

Rapport J K

$$\frac{\text{-----}}{I J} > 1,40 \quad 5 \text{ fois sur } 7.$$

I J

Aviron :

Balistogramme normal constance du rapport d'amplitude :

$$J > K = I.$$

L N bifide.

Netteté de l'onde 0.

I J : 0 sec. 12.

I K : 0 sec. 20 à 0 sec. 22.

J K

Rapport : $\frac{\text{-----}}{I J} < 1,40.$

I J

Cross :

Rapport d'amplitude du type $J = K > I.$

K profond.

L N bifide.

Netteté de l'onde 0.

I J = 0 sec. 12.

J K = 0 sec. 22.

$$\text{Rapport : } \frac{J \ K}{I \ J} > 1,40.$$

Football :

Prédominance du rapport $J > K > I$
avec au minimum $K = J$.

Fréquence d'un K profond.

L N bifide, mais quelquefois L prédominant.

Netteté de l'onde 0.

$I \ J = 0 \text{ sec. } 10 ; 0 \text{ sec. } 08.$

$J \ K = 0 \text{ sec. } 20 \text{ à } 0 \text{ sec. } 22.$

$$\text{Rapport : } \frac{J \ K}{I \ J} < 1,40$$

Pentathlètes :

Plus grande fréquence du rapport $J > K$, puis de $J = K$.

Constance d'un K profond (toujours $K > I$).

Onde L prédominante ; quelquefois L N bifide.

Netteté de l'onde 0.

$$\text{Rapport : } \frac{J \ K}{I \ J} < 1,40 \text{ six fois sur vingt.}$$

Résultats d'ensemble :

Nous notons la plus grande fréquence du rapport d'amplitude $J > K$, mais néanmoins de K profond, toujours plus ample que I.

Dans la diastole, nous notons la grande fréquence d'un complexe L N bifide, parfois remplacé par une onde unique et large ; netteté de l'onde 0. Chez les pentathlètes, les rameurs, les footbal-

leurs vétérans, le rapport $\frac{J \ K}{I \ J}$ est voisin de la normale, c'est-à-

dire ne dépasse pas 1,40, valeur limite supérieure de la normale. Nous avons été très large dans cette appréciation parce que le procédé électro-magnétique a tendance à élever ce rapport (Buckingham) et parce que nous voulons rester clinique.

B) Effort.

1° Par catégorie de sports :

Nageurs :

L'amplitude de K s'approfondit et s'élargit un peu.

Le J s'élève en amplitude.

L'amplitude de I reste souvent très faible. (Observations 1, 0 2, 0 3.)

L'onde L, en clocher, augmente son amplitude et a tendance à rejoindre J.

Aviron :

L'onde K s'approfondit, mais reste inférieure à J et toujours supérieure à L.

L'onde J augmente d'amplitude dans de grandes proportions. Les variations respiratoires sont fréquentes.

Remarque : dans deux cas où K est plus petit que I au repos, le rapport d'effort caractéristique K beaucoup plus grand que I apparaît nettement. Constatation d'une grande onde diastolique L, masquant le complexe L N et s'isolant dans une diastole brève ; elle semble parfois formée de la prédominance de l'onde N.

L'onde O accentue sa netteté.

Cross :

L'onde K s'approfondit.

J a tendance à conserver ses proportions.

L'amplitude de I reste faible.

Le complexe L N bifide du repos est remplacé à l'effort par une onde large ample souvent reliée au H suivant par une dépression en cupule (Onde O accentuée).

Football :

L'onde K s'approfondit.

Apparition d'une grande onde J en clocher qui domine K en amplitude.

Mais le plus souvent, prédominance de l'un ou de l'autre sans qu'on puisse établir de constante.

Faible amplitude de l'onde I.

L'intervalle^e J K s'allonge en durée. Le rapport $\frac{J K}{I J}$ augmente.

Remarque : En conséquence, c'est le parcours du pic de J au pic de K qui s'accroît dans une plus grande proportion en bénéficiant des fortes dénivellations de J ou de K.

Quelquefois, le complexe L N bifide est conservé, mais on note la grande fréquence de l'onde L en dôme plus ou moins croché au sommet.

Onde O accentuée à l'effort.

Pentathlètes :

L'amplitude de K est toujours profonde, parfois supérieure à celle de J.

Remarque : Dans les rares cas où $K = I$ au repos, ce rapport se transforme en $K > I$ à l'effort sans pour cela qu'il s'agisse d'une disparition de I qui reste cependant de faible amplitude.

Accentuation de l'onde L qui se trouve parfois en dôme, et quelquefois crochée par une petite onde N.

Rapport $\frac{J K}{I J}$ toujours augmenté.

2° Résultats d'ensemble :

Sans discuter d'ores et déjà la genèse des modifications d'aspects observés, faisant remarquer que notre classement a été facile, large, que les valeurs indiquées concernent des moyennes et qu'elles ont été comparées aux limites extrêmes des valeurs normales admises par les autres pour laisser une plus grande marge d'interprétation.

— Durée I J : 0 sec. 08 à 0 sec. 10.

— Durée J K : 0 sec. 20 à 0 sec. 22.

J K

— Rapport — très légèrement augmenté après effort dans

I J

le cross, la natation, l'aviron et le football.

Morphologie.

— I demeure de faible amplitude.

— J est d'amplitude augmentée.

— K, déjà ample au départ, augmente nettement à l'effort.

— Lorsque $K < I$ au repos, apparition et même exagération du rapport normal d'amplitude $K > I$ à l'effort.

— L N reste parfois bifide, mais est plus souvent remplacé par une onde L en dôme.

— L'onde O qui suit est creusée, approfondie en cupule.

CHAPITRE VII

APPORTS DES DIVERS AUTEURS A PROPOS DE L'INFLUENCE DU TEST D'EFFORT SUR LA COURBE BALISTIQUE

Très peu de travaux ont été consacrés au balistogramme des sportifs. Nombreux sont cependant les auteurs qui se sont occupés de la question de l'influence de l'effort sur la courbe balistique, peut-être davantage chez le sujet pathologique, pour mettre en évidence l'origine organique, sinon coronarienne, d'un syndrome douloureux précordial atypique, mais suspect d'angor. C'était répéter en balistocardiographie l'épreuve d'effort en électrocardiographie. Pour cette raison, les auteurs ont publié quelques normes.

En 1951, De Soldati et coll. (Buenos-Ayres) apportent les chiffres suivants chez le sujet normal et par le procédé électromagnétique :

Balistogramme en apnée			Après effort
Amplitude :	H	3 mm. 27	3 mm. 38
	I	3 mm. 7	5 mm. 05
	J	10 mm. 99	20 mm. 55
	K	7 mm. 51	11 mm. 16
Durée :	HI	0,07	0,09
	IJ	0,14	0,26
	JK	0,18	0,32
	IK	0,32	0,58

De Soldati et coll. montrent par ailleurs que les variations respiratoires amples et les grandes ondes L disparaissent en quelques minutes après l'épreuve du two-steps de Master et qu'une courte durée de IJ indiquerait une plus grande vitesse d'éjection systolique.

Makinson aux U.S.A., Doliopoulos et H. Bangou en France, s'adressent à des sportifs non entraînés ou peu entraînés, mais à des sportifs amateurs, position toute différente de la nôtre. Nous avons étudié en effet l'influence de l'effort chez des sportifs professionnels, à l'occasion de l'effort auquel ils étaient habitués, pour lequel ils entraient en compétition et qu'ils menaient dans des conditions « normales » par habitude. C'est une position toute différente et toute spéciale ; voyons néanmoins l'apport des enquêtes menées par ces auteurs :

Makinson a soumis 10 sujets normaux à l'épreuve de l'escalier Master. Il a surtout calculé le débit et la force systolique selon le procédé de Starr (table à haute fréquence) ; après effort, le débit cardiaque augmenterait de 50 %, avec retour à l'état normal en 180 secondes. Les courbes d'effort seraient parfois amplifiées, parfois diminuées en amplitude, parfois la courbe deviendrait anormale, permettant de prévoir l'apparition d'un angor en l'absence de toute manifestation clinique. Mais il note par ailleurs la diversité des réponses normales, seules les grosses anomalies pouvant être retenues.

L'étude morphologique des tracés lui aurait montré un élargissement, un dédoublement de J avec baisse de l'amplitude de I.

Th. Doliopoulos et H. Bangou ont examiné 20 étudiants sportifs amateurs en cours d'entraînement. Ils ont noté :

J et H : inchangés.

I K L M N O : durée et amplitude augmentées.

I : amplitude augmentée de 67 %. Durée augmentée de 38 %.

K : amplitude augmentée de 51 %. Durée augmentée de 41 %.

Fréquence de l'Onde O qui devient nette, ample et prolongée.

I K

Rapport ——— inchangé.

I J

Conclusion : Ces auteurs concluent à l'augmentation de force

et de durée de la systole (Onde I) et à l'augmentation de force et de durée de la diastole (Onde K).

* * *

Nos sujets sportifs professionnels n'étant pas des asthéniques neuro-circulatoires au sens donné par l'école américaine, à ces sujets éréthiques, nous tirons les conclusions générales hémodynamiques suivantes, de l'étude de nos tracés :

Nous ne constatons pas d'anomalies au repos, ni après l'effort, preuve que les sujets avaient un fonctionnement cardiovasculaire normal, qu'ils n'étaient pas surentraînés et qu'ils étaient sains.

Nous nous en étions d'ailleurs assuré chez ces sujets déjà bien surveillés régulièrement par des examens cliniques systématiques. Nous avons pris 21 électrocardiogrammes qui ne montrent en particulier ni sous-dénivellation du segment S T, ni anomalie des complexes.

L'amplitude des courbes balistiques est normale. Ce qui élimine les inadaptés, et cette catégorie de neuro-toniques qu'on appelle l'asthénie neuro-circulatoire. Starr, en 1944, a montré que ces sujets apparemment normaux répondent d'une façon spéciale à l'effort, leur débit cardiaque revenant plus lentement à la normale. L'augmentation habituelle de débit est encore de plus de 50 % après 50 secondes et persiste beaucoup plus longtemps au delà des 3 minutes, temps nécessaire de récupération par le sujet normal.

Starr avait classé ces asthénies neuro-circulatoires en deux groupes : les hyperkinémiques, dont les balistogrammes étaient à grosse amplitude au repos, et les hypokinémiques à balistogramme à basse amplitude. Nous n'avons pas noté au cours de notre enquête de sujets appartenant à cette dernière catégorie.

CHAPITRE VIII

DISCUSSION DE NOS RESULTATS

1° La morphologie balistique du sportif existe.

— Pour Dolioupoulos et Bangou, la force et la durée de la systole et de la diastole sont augmentées chez les sportifs. Mais en tous cas, les ondes diastoliques L M N, et surtout O, ont une amplitude d'une durée supérieure à la normale, surtout après effort. Les ondes H et J ne sont pas modifiées, de même que le

J K
rapport $\frac{\text{J K}}{\text{I J}}$.

— Pour Makinson, qui semble avoir mené son enquête chez des sujets de même constitution, donc sportifs amateurs, la force systolique et le débit cardiaque, qu'il a calculés par les procédés de Starr, ont augmentés à la faveur d'une diastole plus longue. Le retour rapide à la morphologie du repos est fonction du degré d'entraînement du sujet.

— Nos conclusions semblent devoir nous rapprocher de l'opinion de Makinson. L'augmentation du rapport $\frac{\text{J K}}{\text{I J}}$ même

légère, après nos épreuves d'effort, paraît objectiver l'allongement de la diastole qui est constituée, comme nous l'avons décrit plus haut, d'un K profond, d'une onde L en dôme et d'une onde O en cupule, toutes larges et amples. Déjà au repos, la durée moyenne

de J K est de 0 sec. 20 chez nos sportifs professionnels, alors qu'elle n'est que de 0 sec. 18 chez les sujets normaux selon De Soldati. Par contre, nous avons trouvé une durée plus faible pour I J : 0 sec. 08 à 0,10, au lieu de 0 sec. 14 indiqué par Soldati. Nous ne notons qu'une faible augmentation de cette durée à l'effort et nous n'atteignons jamais les chiffres de De Soldati.

2° Faut-il discuter de cette morphologie du balistogramme du sportif ?

On sait que la balistocardiographie en est encore à son début, qu'elle traite d'un problème particulièrement complexe, et on pourrait nous critiquer d'apporter des résultats trop hâtifs et donc incertains.

Répondons à nos adversaires que l'onde K peut augmenter d'amplitude après un séjour debout de 1 à 2 minutes, après avoir marché, que l'onde L fusionne souvent avec l'onde N chez le sujet sain, dans le primo-décubitus, s'y élargit, donne un aspect crocheté ou en cupule, pour revenir à l'aspect normal en quelques minutes par dégagement de L et de N. Accordons-leur également le fait que l'onde K est de grande amplitude chez les sujets de grande taille par la longueur plus grande de l'aorte descendante, surtout dans le procédé électromagnétique qui est le nôtre, et en l'absence du soulèvement des talons par un bloc en bois, comme le conseille Dock. Cependant, il nous faut faire remarquer qu'une longue expérience du sujet normal et sain, militaire en l'occurrence, nous permet de différencier l'aspect balistographique du sportif professionnel de celui du sujet normal non sportif ou sportif amateur, par l'amplitude de K remarquable par sa grandeur, par l'aspect en dôme de L N malgré la position de décubitus, par l'aspect en cupule de l'onde O, nos sujets étant souvent de petite taille ou de taille moyenne. La pratique habituelle du sport, c'est-à-dire le match régulier, nous semble bien responsable des modifications observées.

3° Interprétation balistique.

Nous concluons au bon entraînement de nos sujets :

— par la légère augmentation de I J, mais aussi par la forte

augmentation d'amplitude de J à l'effort, traduisant la grande force d'éjection ventriculaire ; et sa grande vitesse ;

— par l'apparition des ondes L M N O, traduisant un meilleur remplissage diastolique, surtout après l'épreuve sportive ;

— par l'absence ou la faiblesse des variations respiratoires.

*
* *

Nous avons complété notre enquête par une recherche plus particulière portant sur les footballeurs vétérans et les pilotes d'avions à réaction.

1° Les pilotes d'avions à réaction.

Nous observons les modifications suivantes au repos : balistogramme normal ; rapport d'amplitude $J > K > I$.

Netteté de l'onde O, bifidité de L N, avec prédominance normale de N ;

— après le vol : I K et I J inchangés en durée ;

- grande fréquence d'une augmentation considérable de J en amplitude sans changement de l'onde K.
- la tachycardie n'est pas suffisante pour déformer cette diastole ; cependant nous notons la fréquence et l'importance d'une onde N surélevée et la transformation dans ce sens, au cas où, au repos, nous avons $N < L$.
- Netteté de l'onde O.

Nous concluons à une amélioration de l'éjection ventriculaire et à un remplissage plus lent et meilleur de ces ventricules, les ondes de remplissage s'accroissant et s'étalant dans la diastole.

2° Les footballeurs vétérans.

— Au repos, fréquence du rapport d'amplitude $J > K > I$.

Mais présence d'un K profond.

- Bifidité de L N.
- Variations respiratoires importantes.

— A l'effort, l'onde K s'approfondit.

- I reste faible en amplitude.
- La bifidité de L N subsiste.
- Bonne onde O de repos, conservée après effort.
- Variations respiratoires importantes.

Remarque : Les courbes sont ici modifiées en amplitude et en morphologie, mais à un degré moindre que chez nos jeunes sportifs ; peut-être doit-on incriminer le manque de souplesse de la tuyauterie vasculaire qui donne une réponse standard à des efforts différents. Dans un cas (cas 4), la courbe devient anarchique, mais nous savons qu'il faut faire intervenir l'âge et les réactions scléreuses habituelles à la sénescence.

Conclusion :

Dans les deux cas, des pilotes et des footballeurs vétérans,
J K
nous avons noté une diminution du rapport — après l'épreuve,
I J

traduisant par rapport à nos sportifs professionnels, un manque d'entraînement chez les sujets examinés. En fait, c'est que nos pilotes sont des sujets normaux soumis à des variations trop brutales d'accélération et de décélération, et que nos footballeurs vétérans, dont l'un était âgé de 61 ans, ne peuvent plus s'adapter au rythme du jeu. Cependant, nous savons qu'un balistocardiogramme anormal n'a pas obligatoirement une signification pathologique, surtout après 50 ans (Buckingham).

CHAPITRE IX

INTERPRETATION GENERALE

Il semble bien, d'après l'étude de la morphologie des tracés pris sur nos sportifs professionnels, que des modifications apparaissent déjà au repos : le tracé est normal, mais il s'agit de quelques nuances, dans le sens d'un complexe systolique plus ample que chez le sujet normal, avec ses ondes H I J nettement détachées. Ceci traduirait donc la meilleure chasse, la meilleure expulsion sanguine des ventricules. On pourrait de ce fait prévoir que le sang, envoyé dans les conduits vasculaires avec une plus grande énergie, viendra heurter plus fortement les résistances vasculaires périphériques et subira une décélération plus importante : c'est ce que semble nous traduire l'onde K qui s'approfondit légèrement par rapport à son amplitude normale. Cela confirme d'ailleurs notre essai de calcul de la vitesse du corps que nous avons trouvé accélérée.

Dans la diastole, nous notons la fréquence du complexe L N bifide surélevé, suivi d'une onde O négative très nette, ce qui traduirait un meilleur fonctionnement de la circulation de retour et un meilleur remplissage ventriculaire.

A l'effort, nous ne notons guère en fait que l'accentuation de ces modifications légères décrites au repos. Cependant, il semble, d'accord en cela avec Makinson, que l'onde I soit fréquemment de faible amplitude. Mais, contrairement à cet auteur, si l'onde J gagne une très grande amplitude, elle ne se dédouble jamais, et ne s'élargit pas dans les proportions qu'il indique. Nous avons vu

que, d'après nos résultats, la valeur de I J passe de 0 sec. 08 à 0 sec. 12 à l'effort, ou même reste pratiquement inchangée. A ce propos, le fait que sur toutes les courbes les intervalles I J et I K dans le temps soient identiques d'un sujet à l'autre, ne peut que nous rassurer sur les bonnes conditions de fonctionnement de nos appareils et de notre expérimentation ; la méthode rend compte de **constantes immuables et invariables d'un sujet à l'autre**, comme en rend compte l'électrocardiographie.

Doliopoulos et Bangou notent de leur côté une onde J inchangée, alors que nous la voyons le plus souvent sortir des limites de notre épure ; nous sommes cependant d'accord avec eux pour décrire l'amplitude des ondes L M N O de remplissage ventriculaire qui prennent une grande importance à l'effort.

La différence de résultats tient peut-être à des conditions autres de technique d'appareillage, mais nous croyons plutôt à une différence dans la qualité des hommes choisis pour terrain d'expérimentation. Nous avons insisté par ailleurs sur cette question de la qualité bien spéciale de nos footballeurs professionnels vus en cours d'entraînement.

Nous pourrions ainsi penser que le cœur du sportif professionnel, dont la capacité fonctionnelle semble déjà augmentée au repos, répond à l'effort de façon moins désordonnée et moins bruyante que le cœur d'un sujet normal. Les forces qu'il met en œuvre ne dépassent jamais le but à atteindre. Il semble s'agir d'une adaptation qui vise l'économie des forces.

Chez nos sportifs professionnels au repos, nous avons constaté la brève durée de l'élément actif de la courbe balistique, en particulier dans son segment I J, par rapport au sujet dit normal. Ce fait ne peut que satisfaire l'esprit dans la conception du « cœur de sportif » dont l'énergie potentielle est augmentée.

Nous notons par contre la plus grande durée de l'élément passif, de réaction, constitué des ondes K L M N O, surtout de K dans son trajet J K.

En résumé, à l'effort, l'élément I J élève peu sa durée ou même conserve sa durée initiale, bien que son parcours soit augmenté ; mais l'élément J K, fait de la sollicitation des vaisseaux périphériques par le choc de l'ondée sanguine systolique, s'allonge dans

J K

le temps. Le rapport de durée — s'élève, contrairement aux

I J

résultats de Doliopoulos et Bangou trouvés chez le sujet dit normal.

Pour donner une forme plus agréable à notre pensée, disons que chez nos sportifs professionnels la périphérie fait une réponse longue et embarrassée à la question brève et incisive que lui pose le cœur.

CONCLUSIONS

La balistocardiographie est une nouvelle technique qui a pour objet l'enregistrement des mouvements globaux du corps, en rapport avec l'activité mécanique du cœur et des gros vaisseaux. Elle pourrait renseigner sur la capacité fonctionnelle du myocarde.

Notre étude a porté sur des sportifs professionnels, en cours d'entraînement. Nous avons retenu cent enregistrements pris au repos, et cent enregistrements pris après l'effort habituel. Ceci confère à notre étude un caractère bien particulier.

Au repos, nous n'avons pas noté de tracés anormaux, mais quelques légères modifications dans le sens d'une augmentation d'amplitude de l'onde K. La vitesse du corps semble accrue par rapport au sujet normal.

Après effort, nous constatons l'augmentation d'amplitude de l'onde J qui traduirait la puissance du choc dynamique de l'onde de pression sur la crosse de l'aorte et de la pulmonaire ; l'approfondissement de l'onde K qui traduirait la résistance périphérique à partir des branches de division de l'aorte abdominale ; la netteté des ondes L M N O qui traduiraient sans doute un meilleur remplissage diastolique.

Si cette méthode d'investigation est encore peu employée en France, il n'en est pas de même aux Etats-Unis où, dans l'Armée et l'Aviation, toutes les recrues font l'objet d'un examen balistographique.

Les renseignements qu'elle donne sont susceptibles moins d'aider au diagnostic de cardiopathie, que d'aider à mieux apprécier la capacité fonctionnelle du cœur. Son étude mérite donc d'être poursuivie, et nous espérons avoir contribué à faire sortir de l'ombre ce nouveau mode d'exploration de l'activité mécanique cardiaque.

Vu :

Le Doyen,

H. HERMANN.

Le Président de la Thèse :

Professeur R. FROMENT.

Vu et permis d'imprimer

Lyon, le 24 juin 1954

Le Recteur, Président du Conseil de l'Université :

André ALLIX

BIBLIOGRAPHIE

A. — LIVRES ET REVUES GÉNÉRALES

- 1) BRAUNSTEIN J. R. — *The B.C.G. Ch. C.* Thomas-Sprinfield. S. Presse.
- 2) BROWN H., DELALLA V., EPSTEIN M., HOFFMAN M. — *Clinical Ballistocardiography*. Mc Millan, New-York, 1952.
- 3) GUBNER R., RODSTEIN M., UNGERLEIDER H. — *Ballistocardiography*. Circ. VII, fév. 1953, N° 2, p. 268-286.
- 4) SCARBOROUGH, DAVIS, BAKER, MASON, SINGEWALD. — *A review of Ballistocardiography*. *Am. Heart J.*, vol. 44, N° 6, Décembre 1952, pp. 910-946 (170 réf.).

B. — ARTICLES UTILISÉS POUR LA RÉDACTION DE CE TRAVAIL

- 1) BRANDT J., CACCESE A., DOCK W., SCHRAGER A. — The motion of the thorax during the heart cycle. *Journal of Clin. Investig.* 30, 1951, 971-978.
- 2) BURGER, NOORDERGRAAE, VERHAGEN. — *Am. Heart Journal* 46, July 1953. N° 1, p. 70-83.
- 3) DE SOLDATI, NAVARROVIOLA et MEJIA. — *Arch. Mal. Cœur*, 45, N° 2, Févr. 1951, p. 108-121 et n° 11, Nov. 1952, p. 1016-1021.
- 4) DAVIS F., SCARBOROUGH W., MASON R., SINGEWALD M., BAKER B. — *The BG in mitral Stenosis*. *Circul.* Vol. VII, N° 4, Avril 1953, p. 503-511.
- 5) DI GIUSEPPE F. — Le B.C.G. dans les affections valvulaires acquises. *Acta Cardiol.* VIII, F. I., 1953, p. 22-34.
- 6) JONNAERT. — *Acta Cardiol.* 1952, 7-4, 1953, 8, 3, p. 232.
- 7) KUO P., SCHNABEL T., KAY C. — *Circul.* VI, N° 1, Juillet 1952, P. 74-82.
- 8) MANDELBAUM H. et A. — *The BG in Bundle Branch Cblck*. *Circul.* VI, Oct. 1952, N° 4, p. 578-585.
- 9) MATHERS J.-A., NICKERSON FLEMING F., PATTERSON M. — Abnormal BG patterns in cardiovascular disease as recorded with the L.F. C.D. Balistocardiography. *Am. Heart J.* 40, Sept. 1950, N° 3, p. 390-400.
- 10) MC CUIRE J., HERWITZ G., BRAUNSTEIN J. — *The BCG in a free clinic*. *Cir.* VI, N° 3, Sept. 1952, p. 408-410.

- 11) MERLEN J.-F., TILMANT J. — Base de la Balistocardiographie. *Soc. Biol. Lille*, Juin 1952.
 - 12) MERLEN J.-F., CACHERA J.-P. — Des fréquences à utiliser en Balistographie. *Soc. Biol. Lille*, Fév. 1953.
 - 13) MERLEN J.-F., VANRAPENBUSCH R., CACHERA J.-P. — Le B.C.G. et le rhéogramme vus sous l'angle de l'hémodynamique théorique. *Soc. Franç. Cardiol.* Mars 1953. *Arch. Mal. Cœur*, 15 mars 1953.
 - 14) MERLEN J.-F., DESRUELLES, J. VANDECASTEELE. — *Lille-chirurgical.* B.C.G. et chirurgie cardiovasculaire, 1^{er} janvier 1954.
 - 15) MOSER M., PORDY L., CHESKY K., TAYLOR R., MASTER A.-M. — The B.C.G. in myocardiel infacction : a study of 100 cases. *Circul.* VI. N° 3, Sept. 1952, p. 402-407.
 - 16) SCARBOROUGH W., DAVIS F., BAKER B., NASON R., SINGEWALD M., LORE S., FOX L. — A B.G. Study of 359 apparenthy normal pe sons. *Amer. Heart J.* Vol. 45, fév. 1953, N° 2, p. 161-190.
 - 17) SCARBOROUGH, MASON, DAVIS, SINGEWALD, BAKER, LORE. — *Amer. Heart Journ.* 44, N° 5, Nov. 1952, p. 645-670.
 - 18) TANNEBAUM O. SCHACK J., VESSELL H. — Relationship between bg, forces and certain avents in the cardiac cycle. *Circ.* VI, Oct. 1952, N° 4, p. 586-593.
 - 19) Le balistocardiogramme normal, 50 cas, par R. Heim de BALSAC et Th. DOLIOPOULOS. *Cardiologia* 23, N° 1, 1953, page 36 à 44.
 - 20) Das Ballistokardiogramm bei den Sportlern. Th. DOLIOPOULOS et H. BOUGON. *Cardiologia*, vol. 23. 1953, N° 5, page 300 à 304.
 - 21) J.-F. MERLEN, VANRAPENBUSCH, CACHERA J.-P. — Morphologie du balistocardiogramme, et critique de sa valeur diagnostique. *Archives des maladies du cœur*. 17 mai 1953.
 - 22) Le balistocardiogramme après effort, chez les sujets normaux et anormaux. D.-W. MACKINSON. *Circulation*, vol. II, 1950. Août, pages 186 à 196.
 - 23) La balistocardiographie et ses principes, par J.-F. MERLEN, médecin Commandant CHEVAT, BOUCHEAU P., médecin aspirant (à paraître).
 - 24) J.-F. MERLEN. — Diagnostic cardiologique et visite d'incorporation. (Conférence de perfectionnement des Officiers de Réserve. Octobre 1952.)
-

TABLE DES MATIERES

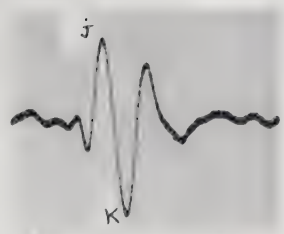
- - Introduction	11
— Rappel historique et principes de la méthode Balisto- cardiographique	15
— Appareillage	19
— Morphologie des tracés	25
— Signification du Balistocardiogramme	33
- Le matériel d'étude	37
— Résultats ; analyse de nos tracés	39
— Apports des divers auteurs à propos de l'influence du test d'effort sur la courbe balistique	47
Discussion de nos résultats	51
— Interprétation générale	55
— Conclusions	59
— Bibliographie	61
— Enregistrements classés par catégorie de sport..	Hors texte

NATATION

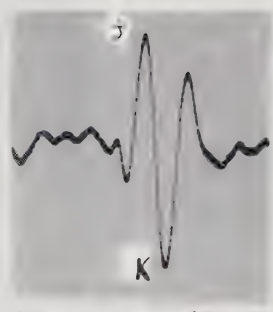
REPOS

EFFORT

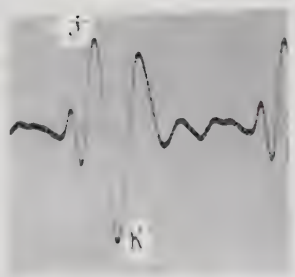
1



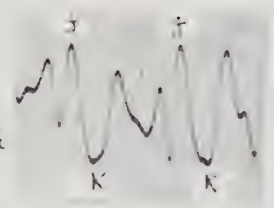
(mise en évidence d'une variation respiratoire)



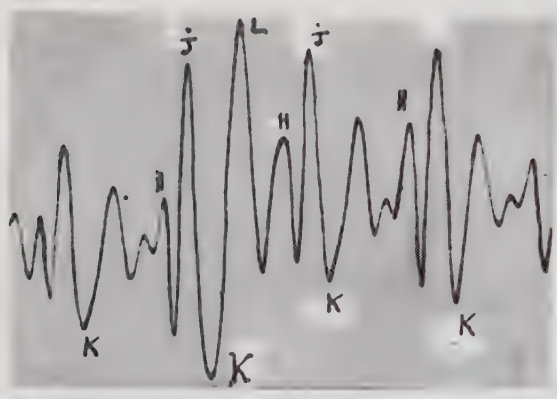
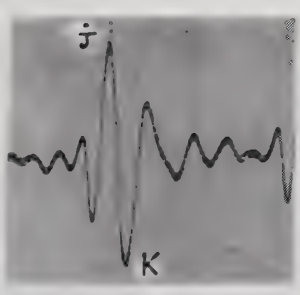
2



enregistré
après forte
réduction
d'amplitude



6

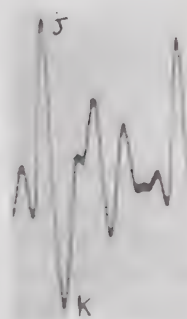
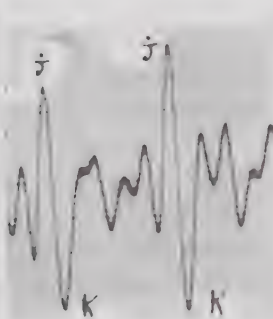
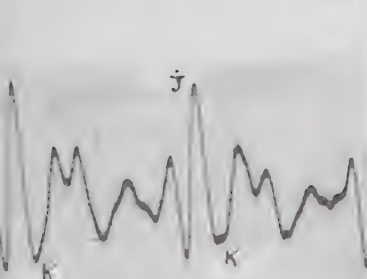
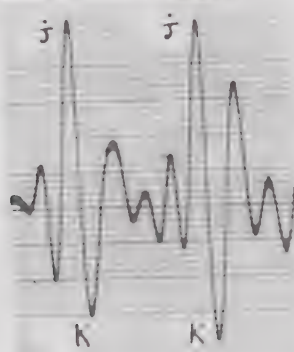
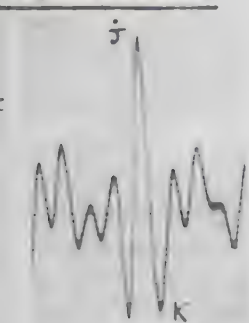


9



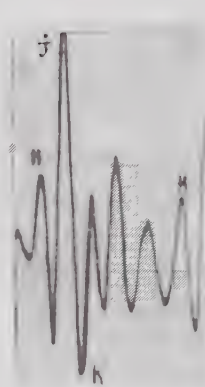
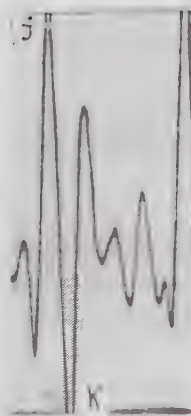
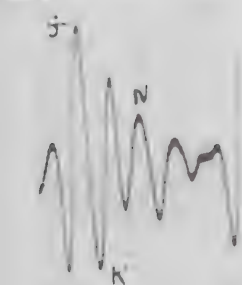
AVIRON

(3/4 d'heure de rame.)



σ_2

σ_3



σ_5



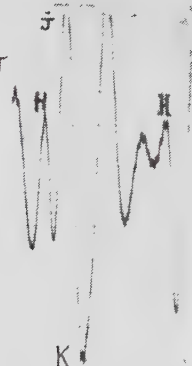
CROSS

REPOS

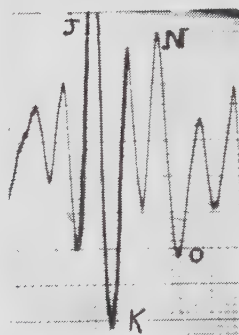
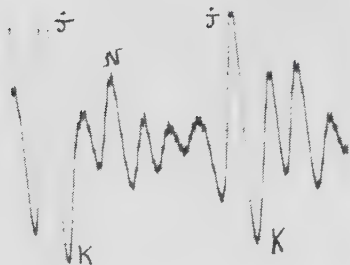
σ_1



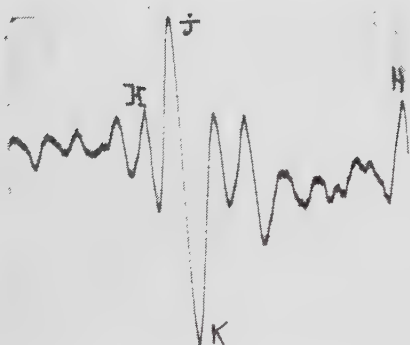
EFFORT



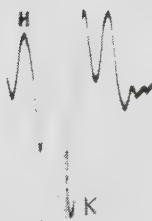
σ_2



σ_6



σ_{10}



1 minute



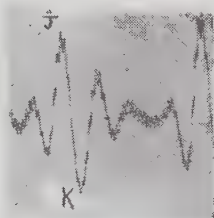
2 minutes 30"

FOOTBALL (JEUNES)

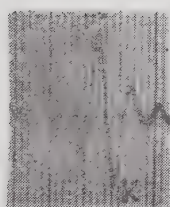
REPOS

EFFORT

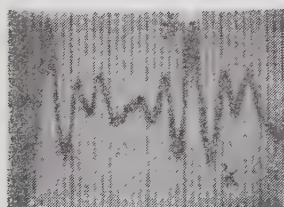
07



02



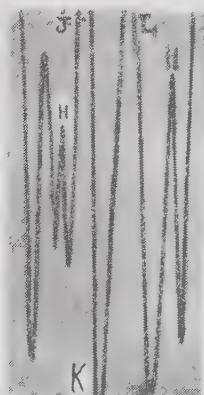
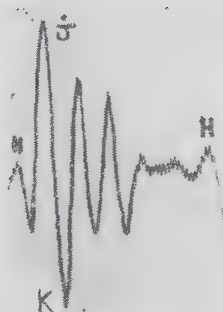
032



2 minutes

6 minutes

040

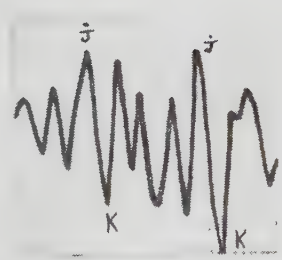
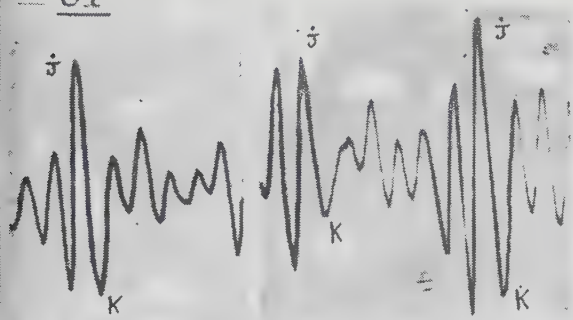


FOOTBALL (VÉTÉRANS)

REPOS

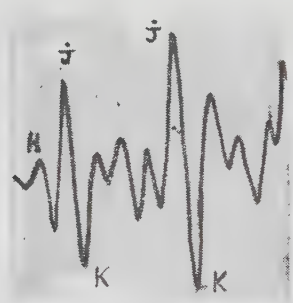
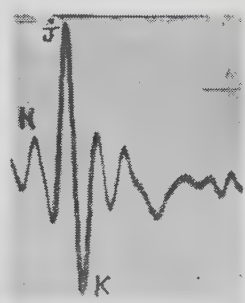
EFFORT

σ_I

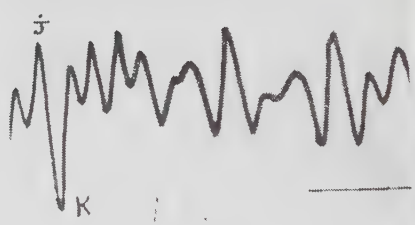
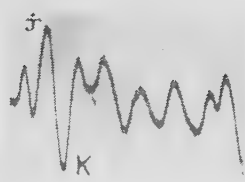


Variation respiratoire.

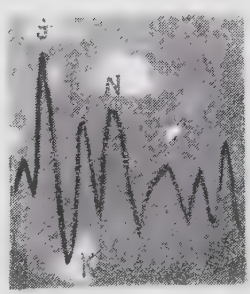
σ_{II}



σ_{III}



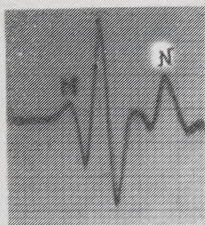
σ_{IV}



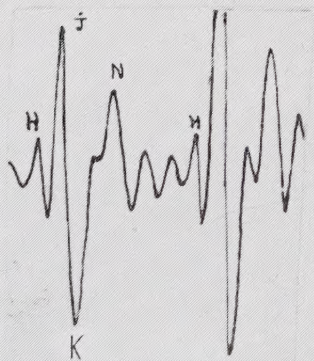
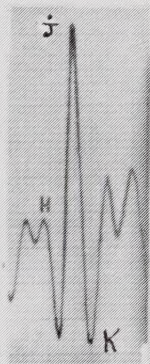
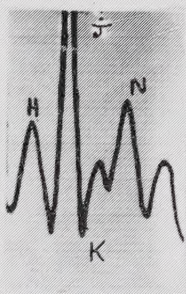
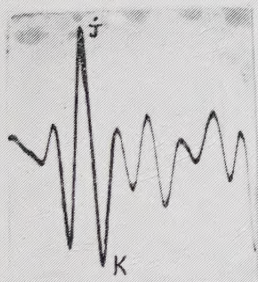
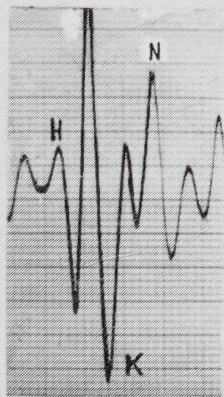
PILOTES

sur AVIONS à RÉACTION

REPOS



APRÈS
MISSION
(exercices
d'assaut)



4' après le vol.

